

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jones D.R., Maitland A., Little C.E. A high-efficiency 200 W average power copper HyBrID laser // IEEE J. Quantum Electronics. — 1994. — V. 30. — № 10. — P. 2385–2390.
2. Astadjov D.N., Dimitrov K.D., Jones D.R., Kirkov V.K., Little C.E., Sabotinov N.V., Vuchkov N.K. Copper bromide laser of 120 W average output power // IEEE J. Quantum Electronics. — 1997. — V. 33. — № 5. — P. 705–709.
3. Sabotinov N.V., Little C.E. Copper laser with high average output power // Proc. SPIE. — 1995. — V. 2619. — № 4. — P. 76–83.
4. Евтушенко Г.С., Петраш Г.Г., Суханов В.Б., Федоров В.Ф. CuBr-лазер с частотой повторения импульсов до 300 кГц // Квантовая электроника. — 1999. — Т. 28. — № 3. — С. 220–222.
5. Marazov O.R., Manev L.G. Externally heated CuBr laser // Optics Communications. — 1990. — V. 78. — № 1. — P. 63–66.
6. Бочков В.Д., Гошева-Маразова М.О., Климовский И.И. Излучатели лазеров на парах металлов, снабженные генератором водорода с большим сроком службы // Оптика атмосферы и океана. — 2001. — Т. 14. — № 11. — С. 1027–1029.
7. Земсков К.И., Исаев А.А., Петраш Г.Г. Роль отрицательных ионов в плазме импульсных лазеров на парах металлов и их соединений // Квантовая электроника. — 1997. — Т. 24. — № 7. — С. 596–600.
8. Astadjov D.N., Dimitrov K.D., Jones D.R., Kirkov V.K., Little L.C., Little C.E., Sabotinov N.V., Vuchkov N.K. Influence on operating characteristics of scaling sealed-off CuBr lasers in active length // Optics Communications. — 1997. — V. 135. — № 1–3. — P. 289–294.

УДК 541.16:182

ВЛИЯНИЕ СУСПЕНЗИИ "МОТОРНОЕ МАСЛО+СМЕСЬ НАНОПОРОШКОВ МЕДИ И НИКЕЛЯ" НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПАРЫ ТРЕНИЯ "УГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ - НИЗКОЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ"

А.П. Ильин, О.Б. Назаренко, С.В. Рихерт

Государственное научное учреждение

"НИИ высоких напряжений при Томском политехническом университете"

E-mail: labor14@mail2000.ru

Рассмотрена возможность применения смеси нанопорошков меди и никеля в качестве металлоплакирующей добавки в моторные масла. При небольшой концентрации смеси в масле происходит снижение коэффициента трения и температуры в узле трения, увеличение же ее концентрации приводит к повышению температуры и росту коэффициента трения. Также с ростом концентрации происходит нанесение нанопорошков на поверхности пар трения в виде пленок, что снижает их износ.

Введение

Проблема трения и износа существовала всегда и в настоящее время все более обостряется. Машины и механизмы работают во все более жестких условиях и при более высоких скоростях скольжения, при этом материалы подвергаются предельным нагрузкам. Поэтому повышение срока службы пар трения является сложной научной и технической задачей.

Большинство машин (85...90 %) выходят из строя по причине износа деталей. Затраты на ремонт и техническое обслуживание машины в процессе ее эксплуатации в несколько раз превышают ее первоначальную стоимость: для автомобилей в 6 раз, для самолетов до 5 раз, для станков до 8 раз.

Одним из направлений повышения срока службы машин является применение металлоплакирующих смазочных материалов (МСМ), при использовании которых на поверхностях пар трения образуются тонкие пленки металлов (сервовитные пленки) [1, 2]. Процесс образования металлоплакирующих пленок был первоначально открыт как "эффект избирательного переноса". Авторами этого открытия Д.Н. Гаркуновым и И.В. Крагельским было обнаружено, что при трении медных сплавов

о сталь в условиях граничной смазки происходит явление избирательного переноса меди из твердого раствора медного сплава на сталь и обратного ее переноса со стали на медный сплав, сопровождающееся уменьшением коэффициента трения.

На данный момент разработаны десятки сотен различных металлоплакирующих смазочных составов, с помощью которых можно осуществлять нанесение тонких металлических пленок. Среди этих смазочных составов большой интерес представляют суспензии порошков металлов в маслах [2]. Вместе с тем, применение нанопорошков металлов дает ряд преимуществ по сравнению с более крупными порошками [3, 4]. Во-первых, нанопорошки имеют относительно небольшую скорость седиментации в маслах. Во-вторых, порошки металлов в наносостоянии имеют склонность к спеканию и при существенно меньших усилиях они образуют сплошные пленки. Образование такой пленки и поддержание ее толщины в процессе трения является динамическим процессом: сначала скорость нанесения пленки превышает скорость уноса материала пленки с поверхности. По мере увеличения толщины пленки скорость нанесения уменьшается, а скорость уноса увеличивается до достижения равновесия между ними.

Известны металлоплакирующие смазочные составы, из которых при трении наносятся пленки меди и медных сплавов. В США выпускаются в промышленных масштабах добавки на основе сплавов меди "Restorer" и "Repower", а во Франции, также на основе сплавов меди, производится добавка "Metal-5". Эти добавки содержат микронные порошки в жидких маслах. Анализ с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии поверхности медных пленок после их нанесения показал, что их поверхность активно адсорбирует из масел добавки, содержащие гетероатомы (азот, серу, кислород). Извлечение антифрикционных, антипенных и других присадок приводит к ускоренному старению масел. Кроме того, появление в масле ионов меди (II) приводит к ускорению окислительной деструкции углеводородов. Таким образом, поиск добавок нанопорошков, не ухудшающих характеристики масел и образующих сплошные металлические пленки, является актуальной проблемой.

Целью настоящей работы являлось изучение зависимости коэффициента трения и износа от концентрации смеси нанопорошков меди и никеля в масле при их соотношении в смеси 1:1 (атомн.).

Характеристика нанопорошков и методики экспериментов

При изготовлении суспензий использовали моторное масло SAE10W-30. Нанопорошки меди и никеля были получены с помощью электрического взрыва металлических проволок в среде газообразного аргона. Среднеповерхностный диаметр частиц меди составлял 0,22 мкм, а никеля – 0,18 мкм. Полученные нанопорошки имели распределение частиц по диаметру близкое к нормальному, но осложненное наличием агломератов. Согласно данным дифференциально-термического анализа температура начала окисления нанопорошка меди превышала 360 °С, а порошка никеля – 340 °С.

Приготовление суспензий в масле проводилось в несколько стадий. Предварительно нанопорошки подвергали "сухой седиментации" при действии колебаний частотой 50 Гц на сосуд с порошком. Затем мелкую часть нанопорошка смешивали с маслом и выдерживали 6 ч при температуре 25 °С. Последующая операция заключалась в обработке суспензии ультразвуком (300 Вт, 22 кГц) в течение 15 мин с перерывами. Концентрации смеси нанопорошков в приготовленных суспензиях составляли: 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30; 0,40; 0,80 % мас. Учитывая объем камеры в машине трения, объем суспензии составлял 0,3 л для каждой концентрации нанопорошков.

Измерение коэффициента трения и износа проводили на трибологическом стенде, моделирующем условия трения машины фирмы "Metler", работающей по схеме: вращающийся вал – неподвижная накладка. Особенностью стенда является конструктивная возможность перемешивания суспензии в узле трения. Нагрузка на неподвижную насадку изменялась ступенчато. Измерение нагрузки на вал

(коэффициента трения) проводилось через 2 мин после увеличения нагрузки на неподвижную насадку и выхода процесса трения на стационарный режим. Величину износа определяли по разнице между исходной массой накладки и массой накладки после её участия в процессе трения при нагрузке 400 МПа. Выбор величины нагрузки (400 МПа) связан с тем, что для большинства суспензий при такой нагрузке коэффициент трения практически не меняется. Вал в машине трения был изготовлен из углеродистой, а накладка из низколегированной стали, поэтому скорость изнашивания вала была в 4...6 раз ниже, и при изучении процессов износа учитывался износ только накладки. При измерении коэффициента трения одновременно проводилось измерение температуры накладки с помощью хромель-алюмелевой термопары, находящейся в контакте с накладкой. Запись изменения температуры проводили в непрерывном режиме.

Экспериментальная часть

Исследуемые суспензии тщательно перемешивали и заливали в узел трения. Объем камеры узла трения составлял 0,2 л, куда заливали 0,15 л сначала исходного масла и определяли коэффициент трения первой накладки. Затем масло сливали и очищали камеру и детали с помощью изопропилового спирта. Суспензию с 0,05 % мас. смеси нанопорошков заливали в камеру узла трения, монтировали вторую насадку и проводили запись коэффициента трения и т.д. На запись одной зависимости коэффициента трения $f_{тр}$ от нагрузки (F_N) (например, для чистого масла) требовалось 90 мин. Скорость скольжения вала по накладке составляла 6,05 м/с.

Таблица 1. Зависимость коэффициента трения от концентрации смеси нанопорошков меди и никеля в масле при различных нагрузках

| № | Концентрация нанопорошков, % мас. | Нагрузка, МПа / $f_{тр}$ | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 20 | 40 | 80 | 160 | 320 | 640 | 960 | 1200 | 1300 | 1400 |
| 1 | 0,00 | 0,04 | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,13 | 0,17 | 0,20 | 0,32 | 0,54 | Св. |
| 2 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,15 | 0,21 | 0,39 | Св. |
| 3 | 0,10 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,18 | 0,26 | Св. |
| 4 | 0,15 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,16 | 0,24 | Св. |
| 5 | 0,20 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,17 | 0,23 | Св. |
| 6 | 0,30 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,16 | 0,25 | Св. |
| 7 | 0,40 | 0,18 | 0,24 | 0,28 | 0,28 | 0,34 | 0,28 | 0,28 | 0,32 | 0,51 | Св. |
| 8 | 0,80 | 0,21 | 0,25 | 0,20 | 0,26 | 0,24 | 0,30 | 0,68 | Св. | Св. | Св. |

Св. – сваривание (схватывание) накладки и вала

Таблица 2. Зависимость износа накладки от концентрации смеси нанопорошков меди и никеля в масле

| № | Концентрация нанопорошков, % мас. | Изменение массы (абсолютное, г, 10^{-4}) | Скорость изменения массы, г· 10^{-4} /ч |
|---|-----------------------------------|---|---|
| 1 | 0 | -38 | -25 |
| 2 | 0,05 | -27 | -18 |
| 3 | 0,10 | -4 | -2,7 |
| 4 | 0,20 | +19 | +13 |
| 5 | 0,40 | +48 | +32 |

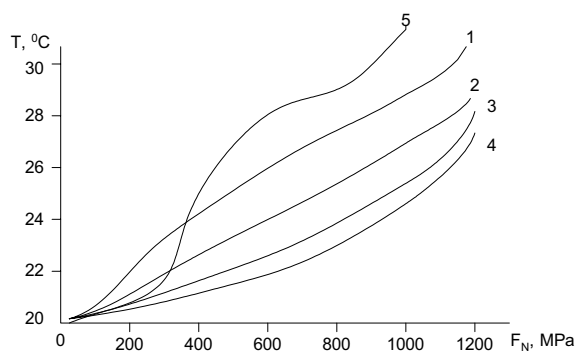


Рисунок. Зависимость температуры накладки от нагрузки: 1) чистое масло; сuspensions смесей нанопорошков меди и никеля в масле (% мас.): 2) 0,05; 3) 0,10; 4) 0,20; 5) 0,40

Результаты измерений коэффициента трения приведены в табл. 1. В табл. 2 представлены данные по измерению износа накладки. На рисунке показана зависимость температуры накладки от нагрузки в процессе трения.

Обсуждение результатов

Согласно полученным результатам (табл. 1) введение в масло небольших количеств смеси нанопорошков (0,05...0,20 % мас.) приводит к уменьшению коэффициента трения на 30...70 % при средних нагрузках 160...1000 МПа. При увеличении concentra-

ции (>0,20 % мас.) коэффициент трения возрастает, наблюдаются колебания его значений. Имеется также тенденция к уменьшению усилия схватывания (сваривания) поверхностей трения с увеличением концентрации нанопорошков в масле. Измерение температуры (рисунок) накладки показало, что ее рост практически соответствует увеличению коэффициента трения: чем больше коэффициент трения, тем выше температура в узле трения. В то же время имеется оптимум по концентрации нанопорошков: 0,15...0,20 % мас., при котором коэффициент трения и температура минимальны.

Согласно полученным данным (табл. 2) износ симбатно уменьшается с увеличением концентрации нанопорошков в масле: при концентрации 0,20 % мас. напротив, происходит нанесение нанопорошков в виде пленок.

Выводы

1. Основным преимуществом участия нанопорошков в процессе трения является уменьшение износа поверхностей трения со сменой его знака. Коэффициент трения при этом уменьшается, но не столь значительно.
2. Оптимальной концентрацией смеси нанопорошков меди и никеля в масле с учетом температуры в узле трения и износа является (0,15±0,05 % мас.).
3. Пат. 1730842 Россия. МКИ C10M 125/04. Смазочный состав / А.П. Ильин, Ю.А. Краснятов, А.В. Елизаров, М.Г. Чернов. Заявлено 14.02.1990; Опубл. 16.02.1993, Бюл. № 6. — 4 с.: табл.
4. Пат. 2132363 Россия. МПК C10M 125/00. Металлоплакирующий смазочный состав / А.П. Ильин, В.Ф. Петрунин. Заявлено 24.04.1997; Опубл. 27.06.1999, Бюл. № 18.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. — М.: Машиностроение, 1989. — 328 с. ISBN 5-217-00348-0.
2. Долговечность трущихся деталей машин / Под ред. Д.Н. Гаркунова. — М.: Машиностроение, 1988. — Вып. 3. — С. 96—143.

УДК 669.28:54

ПЕРЕРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ МОЛИБДЕНА ФТОРИРОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТНЫМ ФТОРОМ

Ф.В. Макаров, Г.Г. Андреев, Т.И. Гузеева

Томский политехнический университет
E-mail: Fedorm@mail2000.ru

Приведены результаты исследований физико-химических параметров процесса фторирования молибдена элементарным фтором. Термодинамическими расчетами и кинетическими исследованиями определены равновесные составы в системе $Mo - F$, константа скорости, кажущаяся энергия активации, установлена лимитирующая стадия. Выведена зависимость степени превращения от температуры и концентрации фтора ($\alpha = f(T, C_F)$) позволяющие оптимизировать процесс, выбор аппаратуры и организацию технологического цикла.

Введение

При производстве таблеток диоксида урана на заключительной стадии их спекания в печах в атмосфере водорода используют молибденовые лодочки. В процессе эксплуатации они теряют свои

физико-механические характеристики, загрязняются оксидами урана, выводятся из производства и складываются. Хранение таких отходов, кроме потери ценного сырья — молибдена, представляет ещё и экологическую опасность.